

第一届同位素水文学学术年会，北京

基于氢氧同位素的浅层紫色土 坡地水文过程与模拟

赵培^{1, 2} 唐翔宇², 唐家良²

1. 商洛学院地理系
2. 中科院成都山地所

2020. 11. 4

汇报提纲

- 一、研究背景与意义
- 二、研究内容与方法
- 三、主要研究结果
- 四、下一步工作设想

研究背景与意义

➤ 紫色土-重要的农业资源

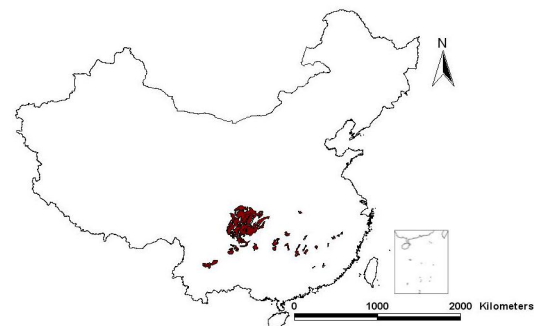
高生产力、四川农业主要用地，独特的土壤性质

➤ 地理位置重要，面积达320,000 km²

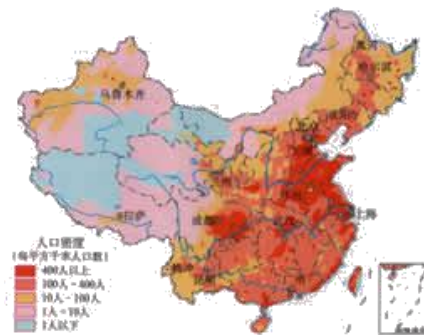
长江水资源重要影响区域

➤ 承载人口数量大，灾害频发

例如 四川省7% 耕地 10% 人口
西南干旱、泥石流、崩塌等灾害



Purple soil distribution



Population density

研究背景与意义



紫色土丘陵区

非点源污染

侵蚀、泥石流

农业抗旱

水循环过程



科学认识坡地水文过程
是解决上述问题的关键

汇报提纲

一、研究背景与意义

二、研究内容与方法

三、主要研究结果

四、下一步工作设想

研究内容

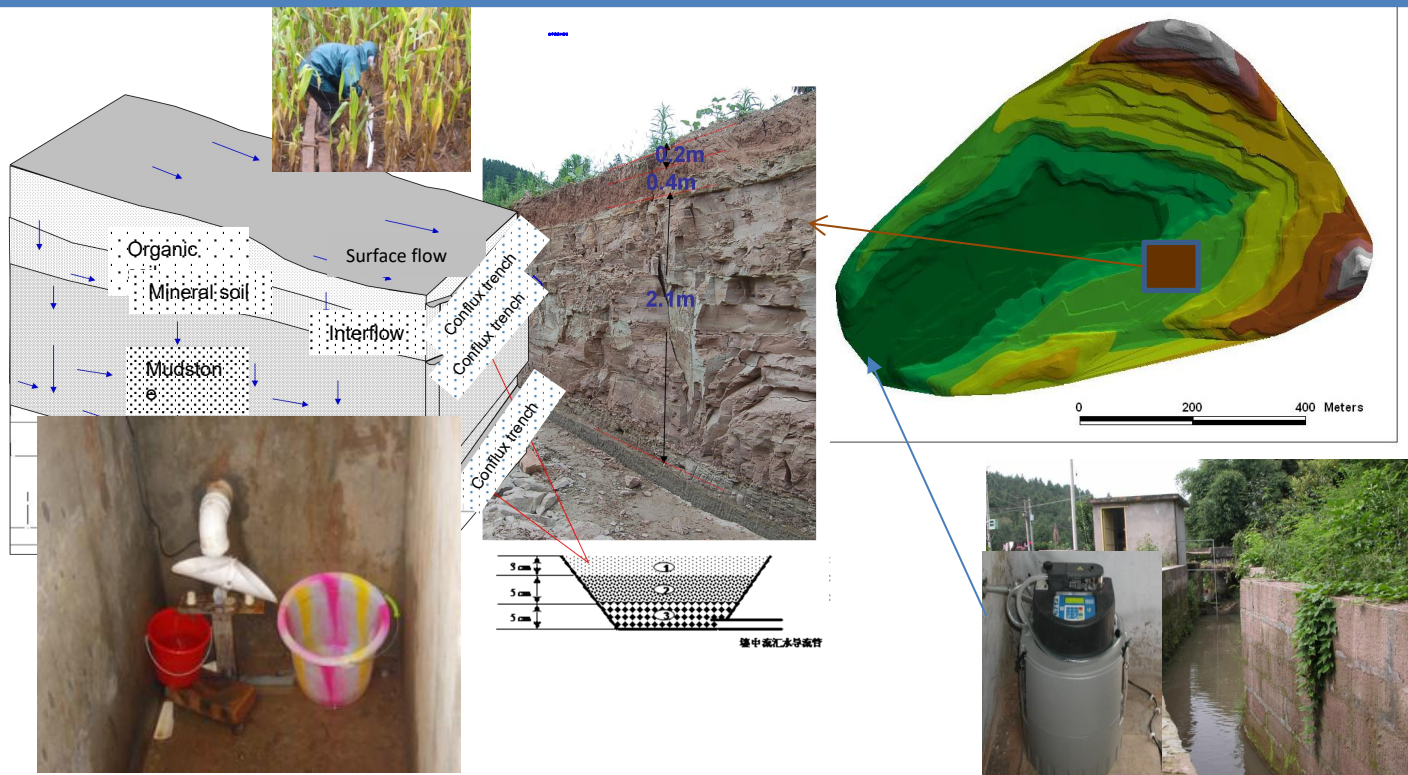
- 紫色土坡地径流过程

通过对土壤水和雨水、径流中的氢氧同位素比率的测定，揭示新水旧水如何相互混合，在不同湿度和深度下产生径流

- 紫色土坡地径流过程模拟

通过测定各水源的同位素特征对坡地的径流和同位素过程进行模拟，探求土壤内部水分如何运动

研究方法



坡面、流域两个尺度研究水文循环过程

汇报提纲

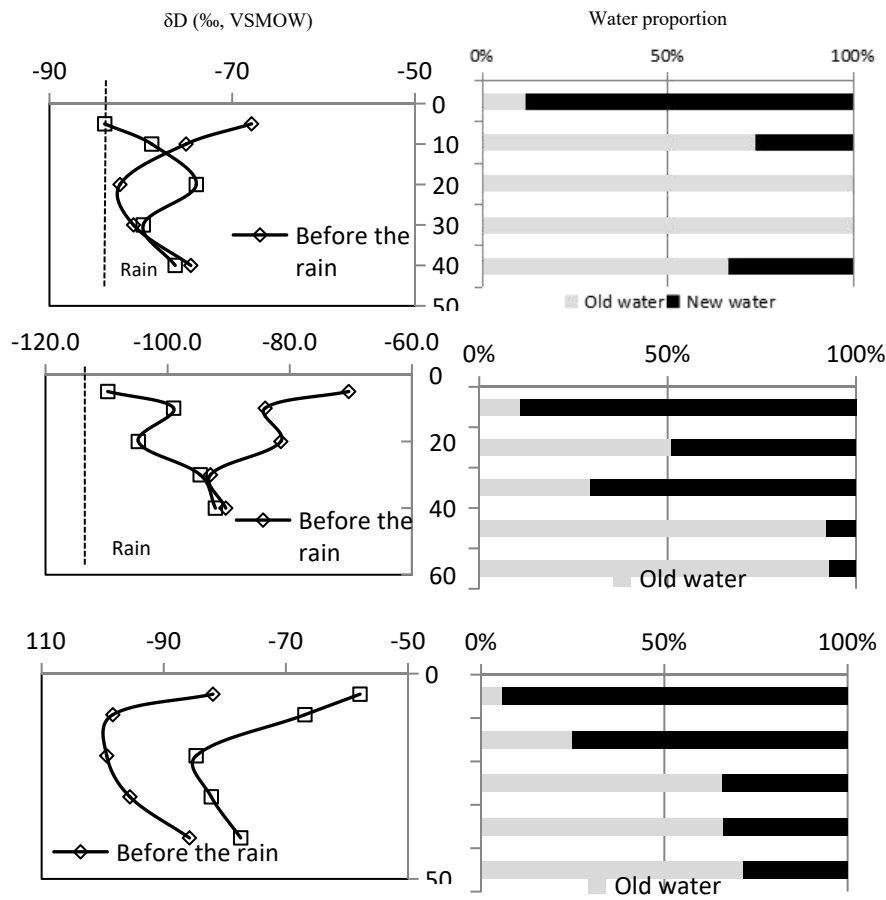
一、研究背景与意义

二、研究内容与方法

三、主要研究成果

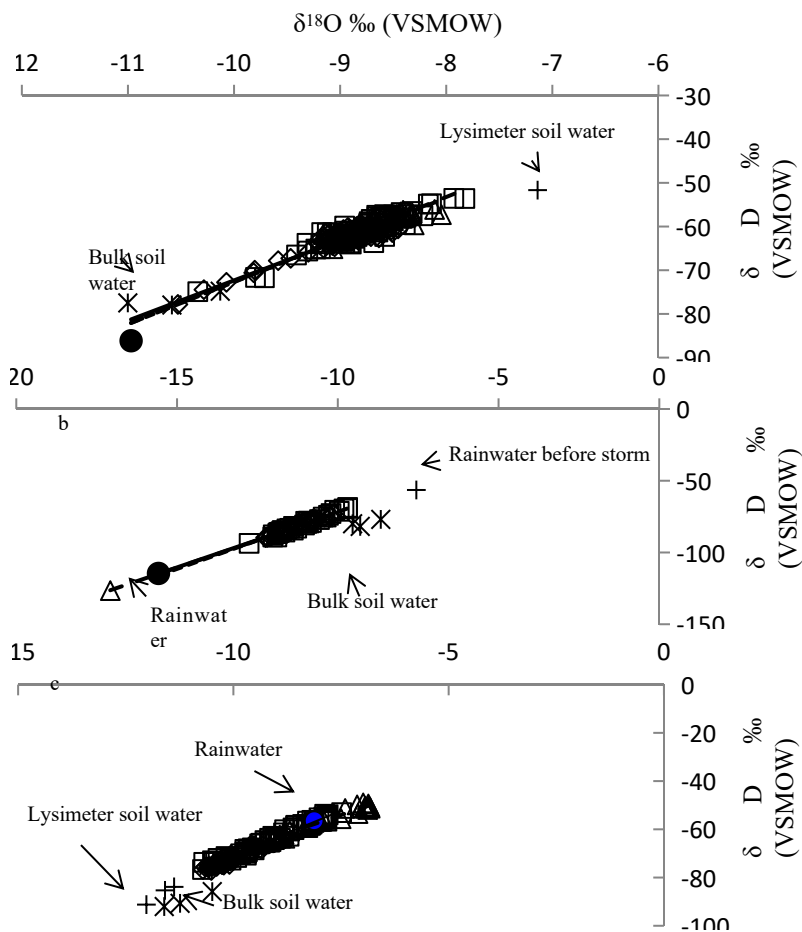
四、下一步工作设想

(一) 紫色土坡地径流过程



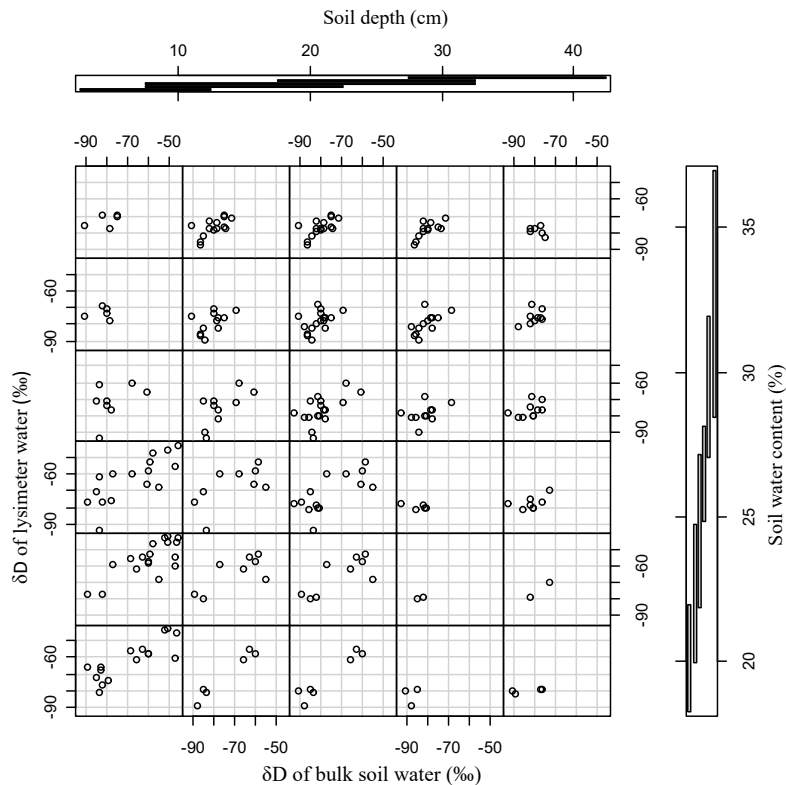
优先流和基质流在土壤水分补给机制中共存，土壤前期含水量和降雨特性决定了哪种补给方式主导，高前期含水量、大雨强下，活塞流主导，反之优先流主导

(一) 紫色土坡地径流过程



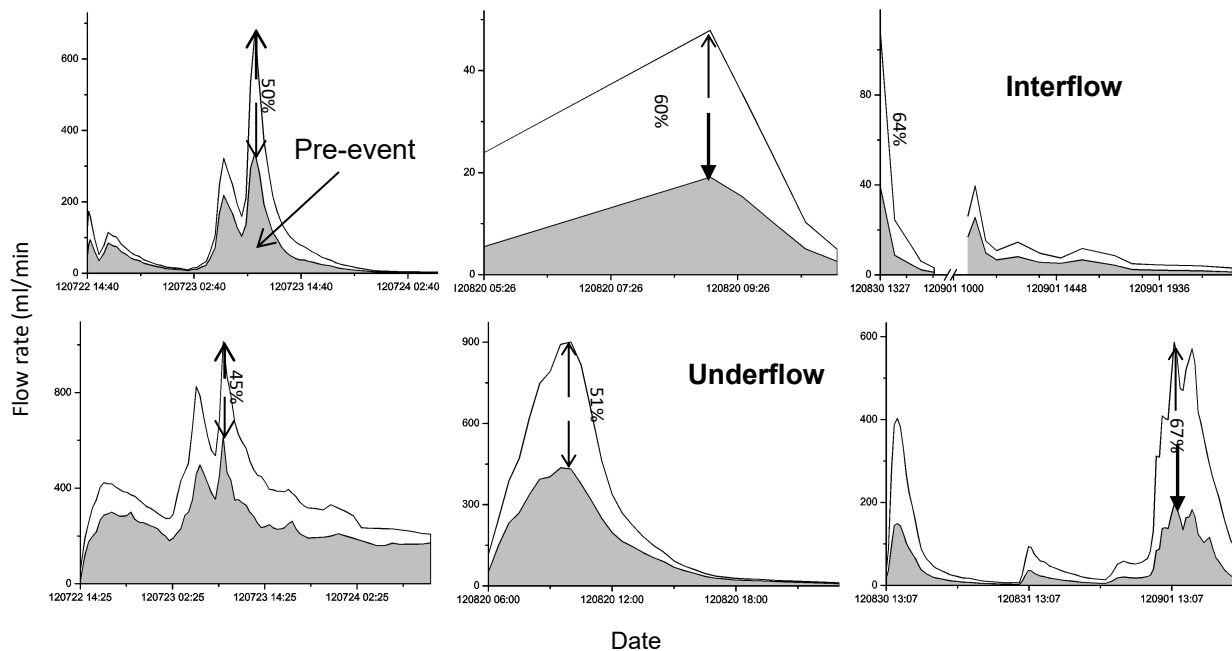
对比真空提取和陶土管两种土壤水测定法的氢氧同位素，发现陶土管法测定的土壤水同位素值更能代表参与径流的“旧水”，表明雨水携带、混合土壤中的易活动水，是径流产生的机制

(一) 紫色土坡地径流过程



在土壤表层和土壤含水量高的环境下，土壤总水与土壤易活动水的氢氧同位素比率差异大，提出应引入“易活动旧（土壤）水”和“不易活动旧（土壤）水”概念，提出应根据水文研究目的选取土壤水相应的采样方法，不能混淆或通用

(一) 紫色土坡地径流过程



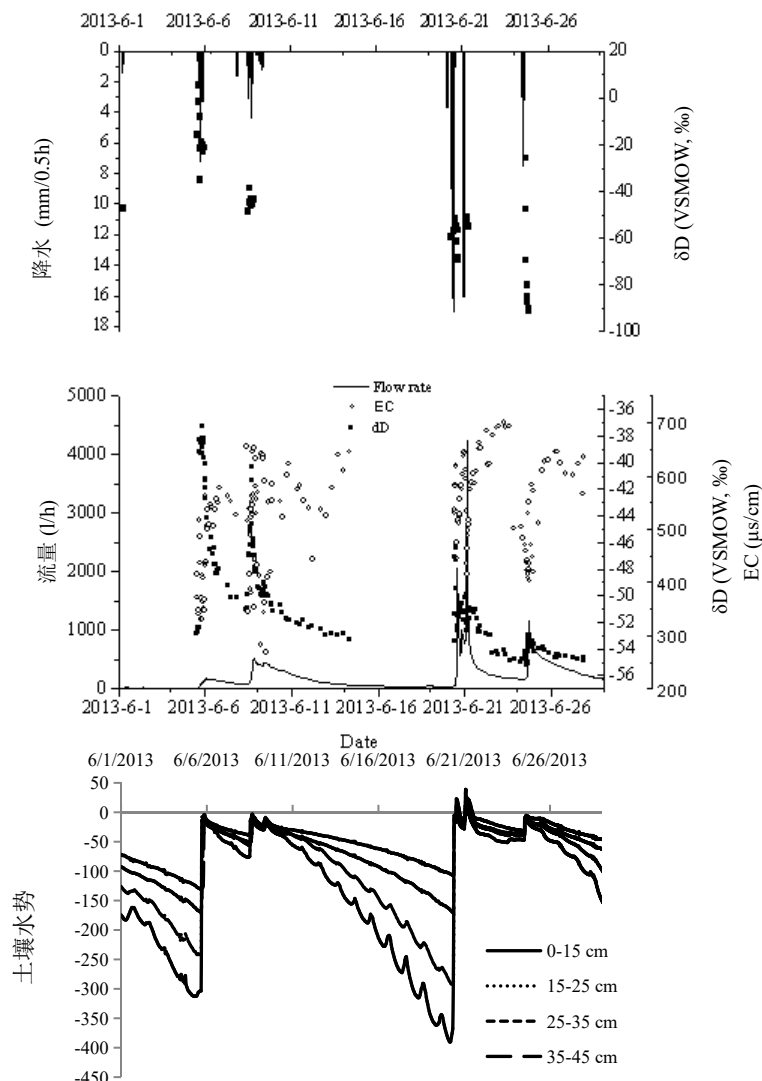
土壤水是地面下径流的重要水源，约占58~89%

坡地产流过程

现象1: 同位素峰值早于径流量峰值:

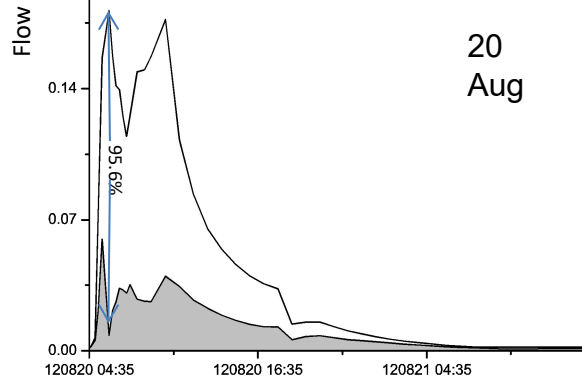
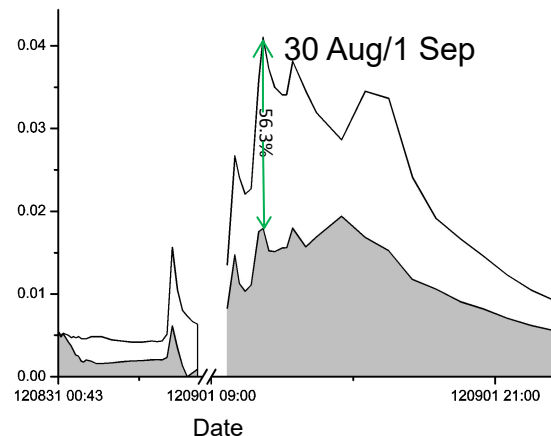
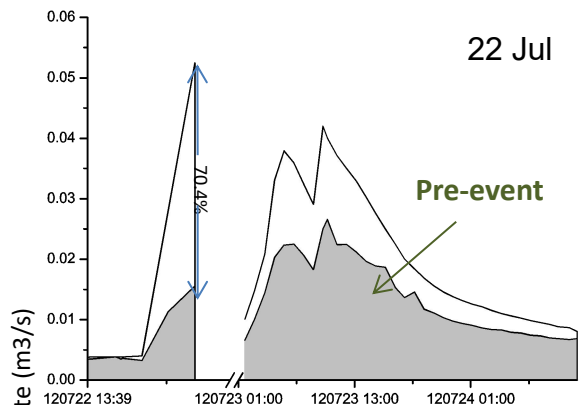
土壤水最大比例对应同位素峰值, 表明峰值前基质流主导土壤水补给, 表明最大的雨水量激发了最大的土壤水流出

现象2: EC峰值滞后于流量峰值: 土壤水被激活后溶质随径流逐渐释放到径流中, 同位素反映水源变化更灵敏准确



(一) 紫色土坡地径流过程

河水径流过程水源组成



地下水主导河流径流初期，
雨水主导洪峰的形成，与森
林流域研究结果不同，农业
流域的“快速通道”

(一) 紫色土坡地径流过程

Event	Rainwater	Hillslope subsurface flow	Stream water	Base flow	Groundwater
22-7	-10.97	-8.52	-8.38	-7.32	-7.50
20-8	-15.58	-10.46	-10.89	-6.54	-7.85
30-8/1-9	-8.12	-9.12	-8.92	-7.00	-7.86

河水的退水阶段与坡地径流更为接近，
说明坡面水文过程主导河水的退水过程

(二) 紫色土坡地径流模拟

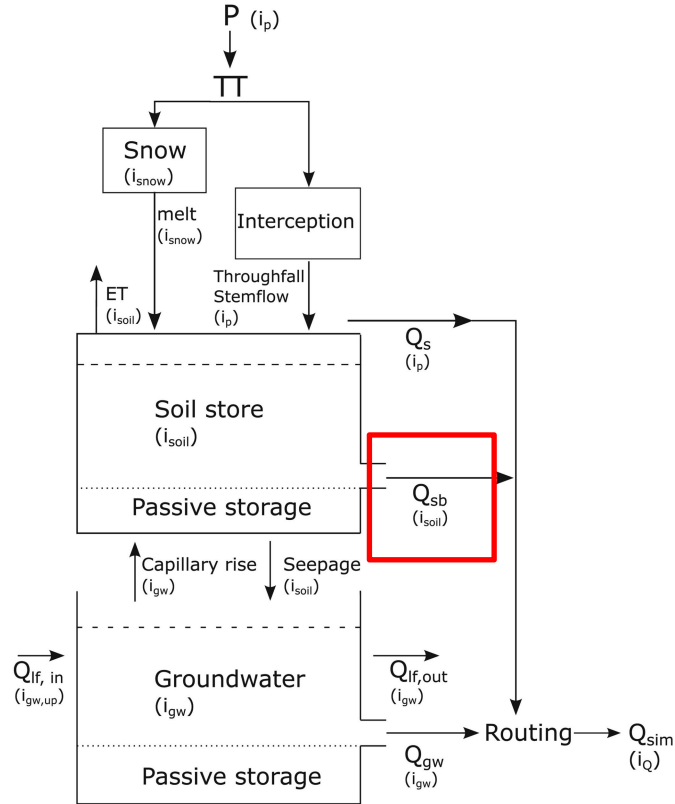
- 坡地水文过程监测采样费时费力，诸如“新水”“旧水”如何作用产生径流的仍不清晰
- 如何模拟浅薄紫色土坡地水文过程尤其是地面下径流的氢氧同位素丰度变化

two-dimensional dual-continuum model S2D, (Dusek and Vogel, 2014; Dusek and Vogel, 2018) 运行复杂，需要高性能计算机

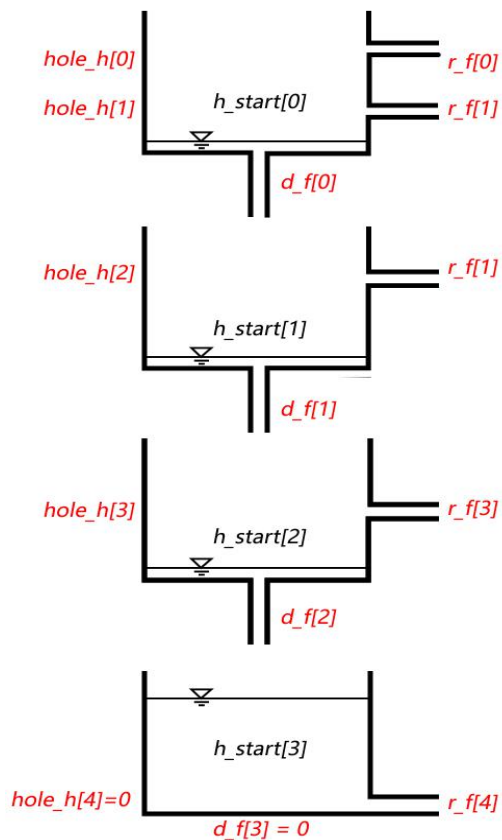
Hydrus-2D 收费，将同位素当作溶质模拟

要么复杂！ 要么收费！

Using high resolution tracer data to constrain water storage, flux and age estimates in a spatially distributed rainfall-runoff model (STARR), Van Huijgevoort et al. (HP, 2016)



(二) 紫色土坡地径流模拟



水箱模型结构

水箱模型就是典型的利用土壤储水量乘以出流系数计算壤中流的出流量

Geophysical Research Letters



RESEARCH LETTER

10.1029/2020GL088897

Key Points:

- Age since precipitation displays inverse storage effect in stream, but not transpiration and soil evaporation, in a humid northern catchment
- Hysteresis between storage and the age of transpired water suggests cross-season carryover, despite weak

Critical Zone Storage Controls on the Water Ages of Ecohydrological Outputs

S. Kuppel^{1,2,3} , D. Tetzlaff^{4,5,3} , M. P. Maneta⁶ , and C. Soulsby^{3,4} 

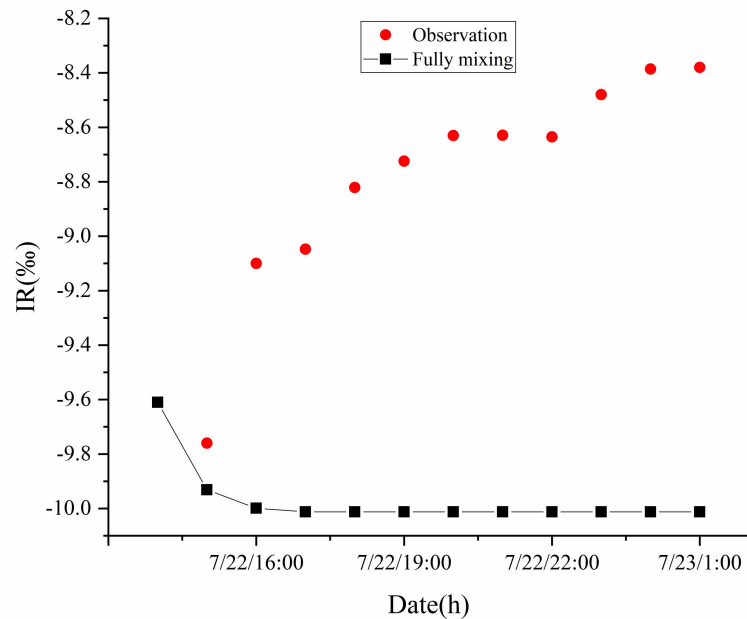
¹Institut de Physique du Globe de Paris, CNRS - University of Paris, Paris, France, ²INRAE, RiverLy, Villeurbanne, France, ³Northern Rivers Institute, University of Aberdeen, Aberdeen, UK, ⁴Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Berlin, Germany, ⁵Department of Geography, Humboldt University Berlin, Berlin, Germany, ⁶Geosciences Department, University of Montana, Missoula, MT, USA

isotopes (^2H and ^{18}O) ratios in water and water ages. For each pixel and critical zone compartment, a full-mixing mass balance equation is applied to signatures (isotopic ratios and ages) at each sub-time step when water is exchanged (and includes evaporative fractionation of isotopes), providing a time-varying mean value (Kuppel et al., 2018a). Because outgoing fluxes have the same fully mixed signature as their feed-

两个疑问？

- 利用完全混合理念模拟地面下径流的同位素过程，能不能广泛适用？
- 在大多数径流分割研究中，认为土壤水的同位素值是固定的，土壤水同位素变化会不会显著影响地面下径流的同位素过程？

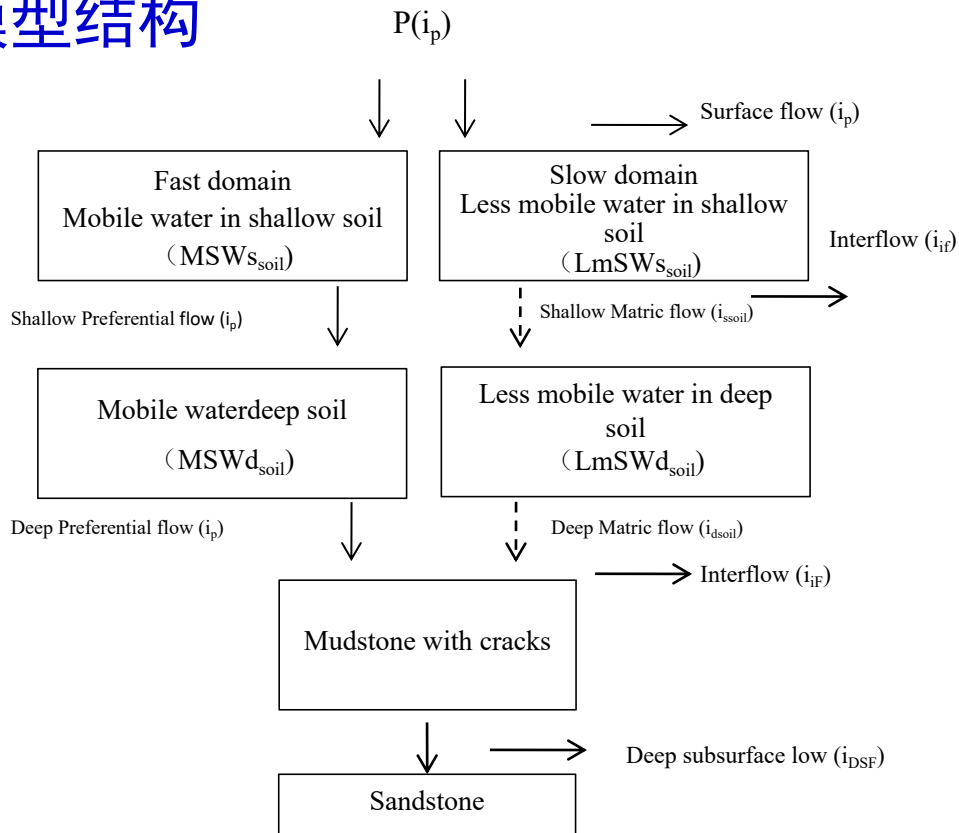
回答疑问1



雨水和土壤水完全混合理念不能反映紫色土区的地
面下径流的同位素趋势

(二) 紫色土坡地径流模拟

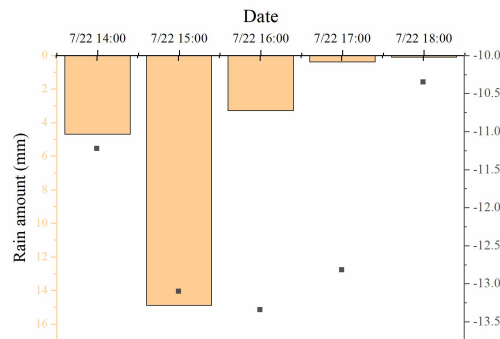
ESHH模型结构



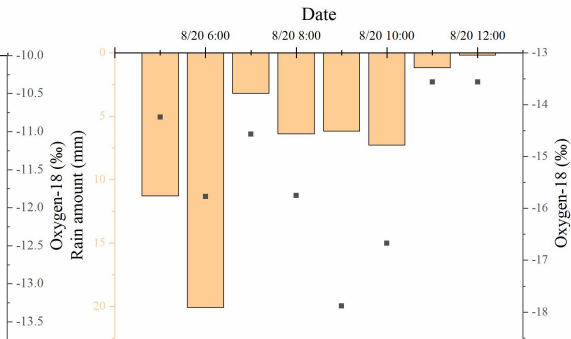
- x1: 浅层优先流系数
- x2: 优先流退水系数
- x3: 基质流系数
- x4: 基质流退水系数
- x5: 深层优先流系数
- x6: 深层基质流系数
- x7: 混合系数
- x8: 活动/不易活动土壤水比例
- x9: 雨水影响强度系数
- x10: 土壤水储存系数

(二) 紫色土坡地径流模拟

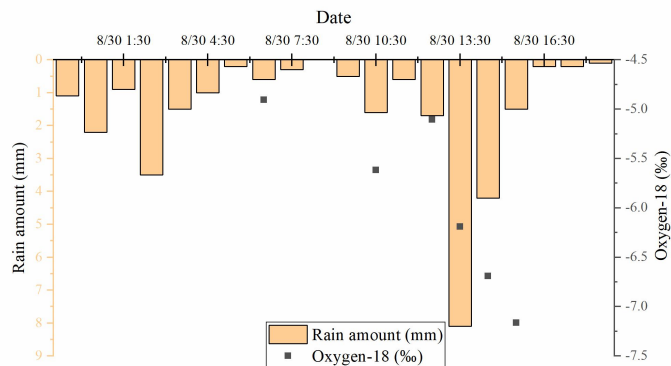
$AP_7=9.7\text{mm}$



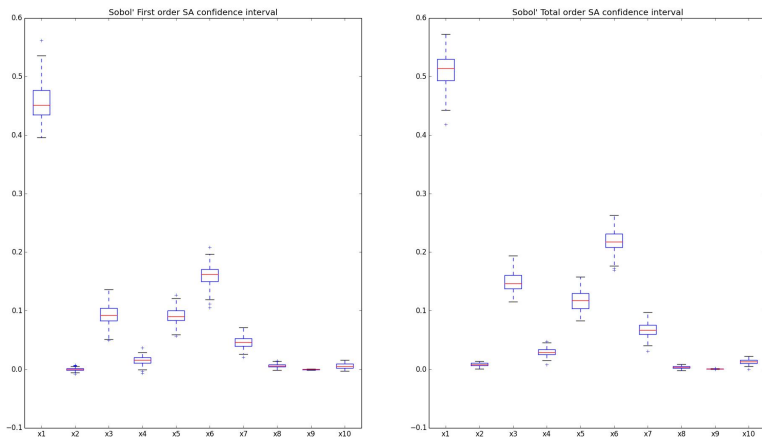
$AP_7=0$



$AP_7=32.9\text{mm}$

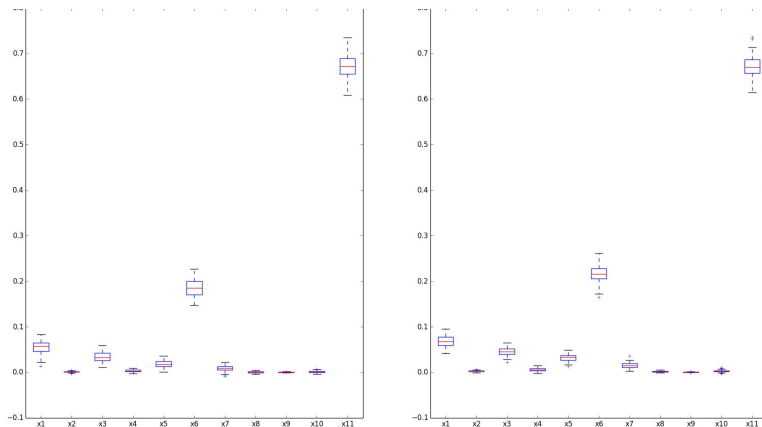


(二) 紫色土坡地径流模拟



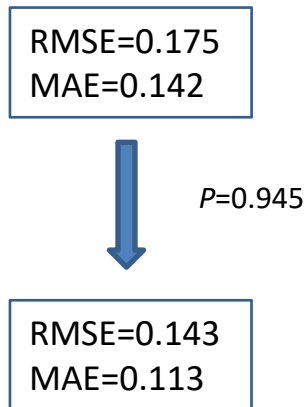
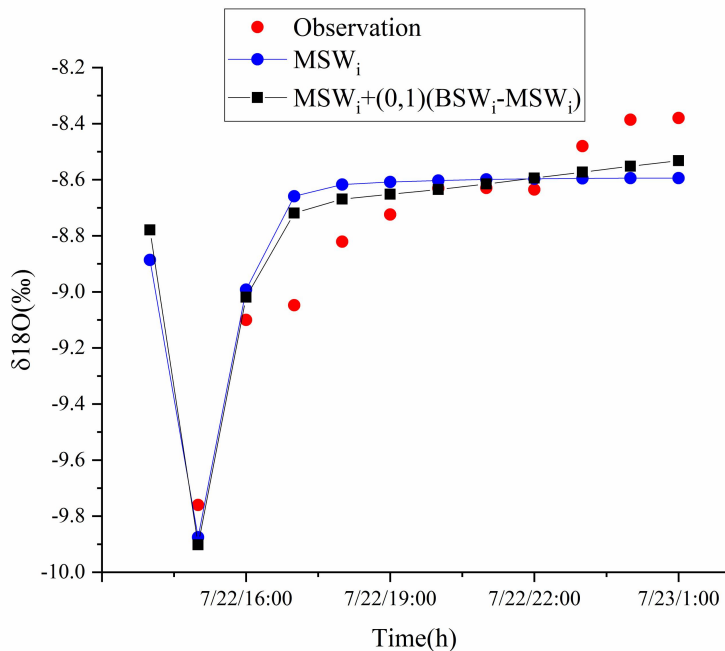
模型参数敏感性分析 (Sobol)

当不考虑参与土壤水的同位素变异时，**浅层土壤水的优先流系数**是影响模型最重要的结果，但当考虑其变异时，**土壤水分的同位素变异**成为对模型结果影响最大的一个参数



回答疑问2

- $MSW_{i+a} (0, 1) * (BSW_i - MSW_i)$ 取代原来模型中仅仅是的 MSW_i 计算方法



几点启示

- 径流的产生不是雨水和土壤水完全混合过程，总有一部分未受“影响”的“雨水”
- 降雨对径流同位素的影响有累积效应和瞬时效应
- 易活动水和不易活动水的比例变化，受前期含水量和雨强的影响
- 模型对土壤水的同位素变异最敏感，径流模拟、分割应适当考虑土壤孔隙水的同位素变化

汇报提纲

一、研究背景与意义

二、研究内容与方法

三、主要研究结果

四、下一步工作设想

下一步工作设想

- 模型没有考虑蒸发、分馏对土壤水的同位素影响，需要加入蒸散发模块；
- 不易活动的土壤水能不能用来代表植物水源？尚需进一步验证；
- 如何扩展到空间尺度，发展成流域水文模型。

谢谢！
敬请各位专家批评指正！

